

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-277849

(43)Date of publication of application : 06.10.2000

(51)Int.Cl.

H01S 5/0687

H04J 14/00

H04J 14/02

H04B 10/02

(21)Application number : 11-082036

(71)Applicant : FUJITSU LTD
UNIV NAGOYA

(22)Date of filing : 25.03.1999

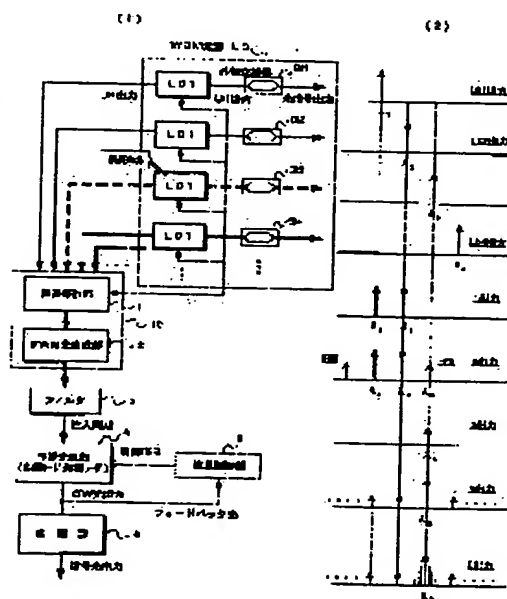
(72)Inventor : GOTO RYOSUKE
YAMANE KAZUO
GOTO TOSHIO
MORI MASAKAZU

(54) AUXILIARY LIGHT SOURCE IN WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an auxiliary light source in wavelength division multiplex for covering many channels with fewer auxiliary light sources at a low cost by combining existing parts without using new devices, and making a restoring time short.

SOLUTION: An optical pulse with four or longer wavelengths at intervals of equal wavelength to each other is generated from a WDM light source by using outer modulators EM1 to EM4. When a defective light source is detected, the remaining wavelengths of the normal light sources are combined to generate a four light-wave mixed light beam, that includes the wavelength of the defective light source. The output light equal to the wavelength of the defective light source is extracted from the four light-wave mixed light beam, and the output light is subjected to injection mode locking through a multiple-longitudinal mode oscillation laser to cause the light beam to oscillate in a single mode.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(43)公開日 平成12年10月6日(2000.10.6)

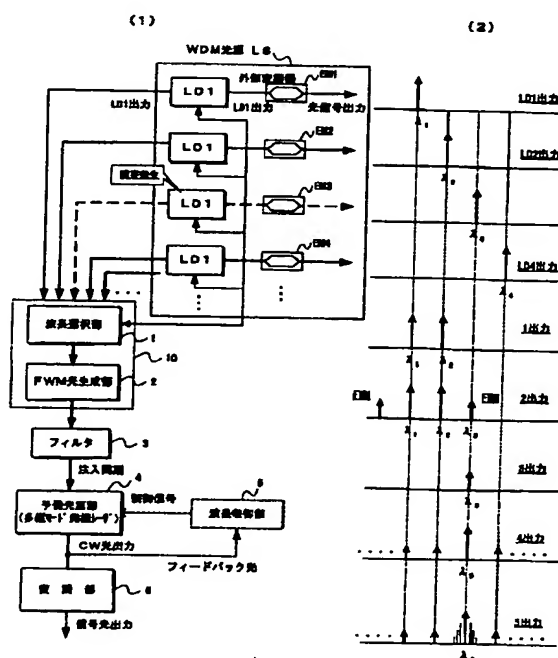
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割多重用予備光源

(57)【要約】

【課題】できるだけ少ない予備光源で多くのチャンネルをカバーでき、新たなデバイスを造るのではなく既存の部品の組み合わせで実現でき(低コスト化)、そして復旧完了までの時間が短い波長分割多重光源を提供する。

【解決手段】WDM光源により4波長以上で互いに等波長間隔の光パルスを外部変調器を用いて生成し、一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み合わせさせて四光波混合光を生成し、該四光波混合光から該障害光源の波長に等しい出力光を取り出し、多縦モード発振レーザで該出力光により注入同期を起こさせて単一モード発振させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】4波長以上で互いに等波長間隔の光パルス
を外部変調器を用いて生成する波長分割多重光源と、
一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害
光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み
合わせて四光波混合光を生成する手段と、
該四光波混合光から該障害光源の波長に等しい出力光を
取り出す光フィルタと、
該出力光により注入同期を起こさせて単一モード発振さ
せる多縦モード発振レーザと、
を備えたことを特徴とする波長分割多重用予備光源。

【請求項2】請求項1において、
該多縦モード発振レーザとして、Fabry-Perot型半導体
レーザを用いることを特徴とした波長分割多重用予備光
源。

【請求項3】請求項1において、
該多縦モード発振レーザとして、リング共振器型レーザ
を用いることを特徴とした波長分割多重用予備光源。

【請求項4】請求項2において、
該半導体レーザの縦モードと、このレーザに注入する該
出力光の波長との差が、注入同期の引き込みレンジ内に
収まるよう該縦モードを微調整する波長制御部をさらに
設けたことを特徴とする波長分割多重用予備光源。

【請求項5】請求項4において、
該波長制御部が、該半導体レーザの温度を変化させるこ
とにより共振器中の屈折率を制御することを特徴とする
波長分割多重用予備光源。

【請求項6】請求項4において、
該波長制御部が、該半導体レーザへの注入電流を制御し
て活性層内のキャリア密度を変化させることにより共振
器中の屈折率を制御することを特徴とした波長分割多重
用予備光源。

【請求項7】請求項3において、
該リング共振器型レーザの縦モードと、このレーザに注
入する該出力光の波長との差が、注入同期の引き込みレ
ンジ内に収まるよう該縦モードを微調整する波長制御部
をさらに設けたことを特徴とする波長分割多重用予備光
源

【請求項8】請求項7において、
該波長制御部が、該リング共振器型レーザの温度を変化
させることにより共振器中の屈折率を制御することを特
徴とした波長分割多重用予備光源。

【請求項9】請求項7において、
該波長制御部が、該リング共振器型レーザのリング長を
制御することを特徴とした波長分割多重用予備光源。

【請求項10】請求項1において、
該生成手段が、三次の非線形媒質として半導体光アンプ
を用いた四光波混合光生成部を有することを特徴とした
波長分割多重用予備光源。

【請求項11】請求項1において、

該生成手段が、三次の非線形媒質として光ファイバを用
いた四光波混合光生成部を有することを特徴とした波長
分割多重用予備光源。

【請求項12】請求項1において、

該生成手段が、三次の非線形媒質として分布帰還型半導
体レーザを用いた四光波混合光生成部を有することを特
徴とした波長分割多重用予備光源。

【請求項13】請求項10、11、及び12のいずれか
において、

10 該生成手段が、該波長分割多重光源の出力光を光合波器
でまとめ、これを所望の透過波長にそれぞれ設定した2
つの光フィルタを透過して該四光波混合光生成部に与え
る波長選択部を有することを特徴とした波長分割多重用
予備光源。

【請求項14】請求項10、11、及び12のいずれか
において、

該生成手段が、該波長分割多重光源の出力光をそれぞれ
個別の光スイッチに通し、所望の波長のスイッチのみを
オンにして該四光波混合光生成部に与える波長選択部を
有することを特徴とした波長分割多重用予備光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光波長分割多重
(WDM: Wavelength Division Multiplexing) 伝送シス
テム等で用いられる、多波長光源(複数の半導体レー
ザ)の予備光源に関するものである。

【0002】現在の基幹系光ファイバ通信システムで
は、一本の光ファイバ中に大容量の情報を一括して送信
できるWDM伝送が主流になりつつある。これは、波長の
異なる各レーザ光に情報を乗せ、これを合波することによ
り、大容量伝送を実現する方式である。

【0003】従って、各レーザの変調速度(ビットレ
ート)を無理に上げること無く、使用する波長数(チャ
ネル数)を増やすことで、大容量伝送(数百Gb/s)が実
現できる。波長分割多重(以下、WDMと略称することが
ある)伝送システムの光源には、一般に、単一縦モード
(単一波長)発振に優れた分布帰還型半導体レーザ(DF
B-LD: Distributed Feed-Back LD)が用いられる。各レ
ーザの発振波長は、国際電気通信連合(ITU-T)によっ
て標準化されており、現在では、各波長間隔が約0.8nm
(周波数で100GHz間隔)となる波長グリッドが設定され
ている。

【0004】このため、各光源に波長を精密に制御する
波長ロッカー(波長制御)モジュールと呼ばれる装置を
取り付け、レーザの温度を高精度に制御することによ
り、発振波長を安定化させる手法が広く用いられてい
る。また、WDM伝送システムの長所は、チャンネル数を
増加させることで伝送容量を増加できる点に在るため、
近年では32チャンネルというような大容量WDM伝送シス
テムが検討されている。

【0005】しかしながら、このようにチャンネル数が増加してくると、システム稼働中に、そのうちの或るチャンネルの光源に障害が発生する確率が高くなる。光源に障害が発生すると、そのチャンネルをオフにし、予備光源に切り替えねばならない。障害が発生するチャンネルは予想できるわけではないので、前述のように標準化されたWDM波長を、すべてカバーできる予備光源が必要になる。

【0006】

【従来の技術】従来のWDM用予備光源は、大きく分けて2つのタイプがある。その一つは図13に示す如く、チャンネルCh1, Ch2, Ch3毎に一つずつ予備の半導体レーザLD10, LD20, LD30, ……を備えるものである。

【0007】もう一つは、図14に示す如く、半導体レーザLD10, LD20, LD30, ……の全体に対して波長可変予備光源LD₃を別途用意し、障害によって失われた波長と等しい波長成分を波長可変予備光源LD₃により新たに作り出すというものである。まず前者の方式について述べる。この方式は、あるチャンネルの光源に障害が発生した場合、その光源の代わりに、発振波長の等しい別の光源で置き換えるものである。

【0008】しかしながら上述したように、光源の発振波長は波長ロッカーによって精密制御しなければならないため、波長ロッカーモジュールを含めたユニット全体を交換する必要がある。従って、全チャンネルに対し、図示のとおり、予備のユニットを一つずつ用意することとなる。

【0009】次に、後者の方法について述べる。波長可変光源LD₃には色々なタイプがあるが、一般に広く使われているものは、(1)回折格子などによるフィードバックを利用するタイプ(機械式と光学式)と、(2)DFB-LDの温度変化を利用するタイプ、の二つがある。

【0010】まず、タイプ(1)について、機械式と光学式の各原理を図15(1)及び(2)に示す。半導体レーザ100の一方の端面100aを無反射(AR: Anti-Reflection)とし、その出力光を回折格子101に当て、同図(1)の場合は反射鏡102で反射させることにより、また同図(2)の場合は回折格子101自体で反射させることにより、所望の波長成分(この例ではλ₃)のみを再びレーザ100へフィードバックさせる。この結果、レーザ100はフィードバック光の波長で発振する。

【0011】従って、回折格子101の角度を機械的に変化させるか(同図(1))、あるいは格子ピッチを光学的に変化させるか(同図(2))により、フィードバック光の波長を変化させれば波長可変となる。この手法の波長可変範囲は数10nmに及ぶ。一方、タイプ(2)は、同図(3)に示す如く、DFB半導体レーザ100の発振波長温度依存性を利用した方法である。レーザ100の温度を変化させると、レーザ100内部の屈折率が変化し、見かけ上の共振器長が変化する。共振器長が変化すれば、それに対応して発

振波長も変化する。

【0012】一般的にDFB半導体レーザでは、この依存性が0.1nm/deg.程度であるため、デバイスの温度耐力を考えると、5~6nm程度の可変範囲に留まる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】上記の従来例を用いた場合、システムの大容量化に伴ってチャンネル数が増加すると、色々な面で問題が生ずる。まず、各チャンネル毎に一つずつ予備のレーザを備える図13に示した方式では、数10チャンネルのWDM伝送システムの場合、膨大な数の予備ユニットを用意しておかなければならず、スペース及びコストの両面で非常に不利である。また、予備ユニットを丸ごと交換するため、復旧に時間が掛かる点も問題である。

【0014】次に、波長可変光源を用いる方式の場合には、図15(1)に示した光フィードバックの機械式の例では、回折格子を精密制御する装置がコストアップの原因となっている。また、光学部品を機械的に制御するため、振動や熱変動に非常に弱く、場合によっては多縦モード発振状態になってしまうなど、安定動作・長期信頼性に問題点が多い。

【0015】一方、同図(2)に示した光フィードバックの光学式の例では、DBR(Distributed Bragg Reflector)半導体レーザが開発されているが、価格が高いことや、発振モード飛びが起こり易いなどの難点がある。また、多チャンネルシステムの場合、2つ以上の光源が同時期に故障する場合も考えられるため、予備光源は複数個用意する必要がある。したがって、予備光源一個当たりのコストが高いため、システム全体のコストが上昇してしまう。

【0016】一方、同図(3)に示した温度特性を用いる例では、構成が簡便となり、同図(1)及び(2)に示した例に比べればコスト的に有利であるが、上述したように可変範囲が狭いため(5~6nm程度)、全チャンネルの波長域(例えば、波長間隔0.8nm×32ch=25.6nm)をカバーするためには、それぞれの帯域で動作する予備光源を複数個用意しなければならない。

【0017】従って本発明は、できるだけ少ない予備光源で多くのチャンネルをカバーでき、新たなデバイスを作るのではなく既存の部品の組み合わせで実現でき(低コスト化)、そして復旧完了までの時間が短い波長分割多重用光源を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、WDM用の予備光源として、多縦モード発振レーザの縦モード注入同期と呼ばれる現象を利用する。この現象については、L.Goldberg, H.F.Taylor and J.F.Wellerの"Intermodal Injection Locking of Semiconductor Lasers (半導体レーザのモード間注入同期)", Electro n. Lett., Vol.20, No.20, pp.809-811, 1984に記載さ

れている。

【0019】この現象は、多縦モードレーザの外部より、単一波長（単一モード）の微弱なコヒーレント光を注入することによって、余分な縦モードを抑圧し、注入光の波長で単一モード発振を起こさせるものである。この時、注入光の波長を適当に選ぶことで、多縦モードのうち所望のモードだけを発振させることができる。

【0020】縦モード注入同期の一般的な構成例を図1に示す。発振波長が安定している単一縦モードレーザ（マスタレーザ：発振周波数 f_m ）61から出力された微弱光を、光アイソレータ62を介して、多縦モードレーザ（スレーブレザ：中心周波数 f_s ）63に注入する。

【0021】この時、スレーブレザ63の多縦モードのうちで、マスタレーザ61の縦モード発振周波数（図示の例では波長 λ_s ）に最も近接しており、かつその縦モードとマスタレーザ61の周波数差 $|f_m - f_s|$ が「引き込みレンジ」（一般に10数GHz程度）と呼ばれる範囲内にある場合、縦モード成分が注入光（波長 λ_s ）に引込まれ、その他の多縦モードが抑圧される。

【0022】その結果、抑圧された多縦モード成分のエネルギーが発振モードへ移行し、高ピークパワーではほぼ単一縦モード発振の状態になる。図2には、その実験結果例が示されている。この時、注入光パワーが大きいほど、その抑圧比（同期されたモードのパワー／抑圧されたモードのパワー）は大きくなる。

【0023】従って、以上の原理によってWDM用の予備光源を構成するには、WDMの波長グリッドで設定されたチャンネル間隔（周波数間隔）とほぼ等しいFabry-Perotモード間隔を持つ多縦モードレーザを予備光源とし、これを、障害によって失われた光源と波長が等しい別の微弱光で注入同期してやればよい。

【0024】しかしながら、ここで問題となるのは、多縦モードレーザに注入する成分（マスタレーザ縦モード成分に相当）、すなわち障害で失われた波長成分をどのように生成するかという点である。縦モード注入同期を起こすには、外部より注入する成分のパワーは、それほど高ピークである必要はない。注入光のピークパワーが高ければ、それだけ引き込みレンジ（同期が起こる前の、注入光と、注入同期される縦モードとの周波数差）が広がるだけである。

【0025】そこで本発明では、この失われた波長成分を得るために、一般に非縮退四光波混合（Four Wave Mixing; 以下、FWMと略称することがある）と呼ばれる現象を用いる。この現象は、G.P.Agrawalの"Nonlinear Fiber Optics（非線形ファイバ光学）"、ACADEMIC PRESS 1989、P289-P292に記載の如く、三次の非線形光学効果として知られており、図3に示す如く、例えば角周波数 ω_1 と ω_2 の2つの光を三次の非線形媒質70に注入すると、 ω_1 及び ω_2 に加えて $2\omega_2 - \omega_1$ 及び $2\omega_1 - \omega_2$ の新たな成分を含む四光波混合光が生成される現象である。

【0026】上述したように、現在のWDM伝送システムでは、各光源の波長が標準化されており、そのチャンネル間隔は周波数で一定値になるよう決められている。周波数間隔 $\Delta\omega$ が一定であるということは、例えばチャンネルCh3（周波数 ω_3 ）に障害が発生した場合、チャンネルCh1（ ω_1 ）とチャンネルCh2（ ω_2 ）（但し $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$ ）の成分を用いて、非縮退四光波混合光（ $2\omega_2 - \omega_1$ ）を生成させれば、 $2\omega_2 - \omega_1 = \omega_2 + (\omega_2 - \omega_1) = \omega_2 + \Delta\omega = \omega_3$ となり、障害に係るチャンネルCh3の成分（ ω_3 ）を得ることが可能となる（但しパワーは小さい）。

【0027】これに、前述の縦モード注入同期を組み合わせ、多縦モードレーザを注入同期させれば、任意のチャンネルに対するWDM用予備光源を構成できることが分かる。すなわち、上記の構成をまとめると、本発明に係る波長分割多重用予備光源は、4波長以上で互いに等波長間隔の光パルスを外周変調器を用いて生成する波長分割多重光源と、一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み合わせて四光波混合光を生成する手段と、該四光波混合光から該障害光源の波長に等しい出力光を取り出す光フィルタと、該出力光により注入同期を起こさせて単一モード発振させる多縦モード発振レーザと、を備えたことを特徴としている。

【0028】従って、各チャンネルに各予備光源を設置する必要もなく、また、精密な波長可変光源も必要でない。しかも、再周波数 ω_1 と ω_2 の光源は、波長ロッカーによって精密に波長制御されているので、生成する四光波混合光（ ω_3 ）も安定しており、注入同期が起これば、予備光源の発振波長も安定化する。

【0029】また、四光波混合成分光（障害に係るチャンネル）を得るために必要な二つの光源の組み合わせは、一般的に言えば、障害を起こしたチャンネルの周波数を ω_n （ n はチャンネル番号に相当）とすれば、 $\omega_{n-1,k}$ と $\omega_{n+1,k}$ （ k ：整数（0を除く）、但し $1 \leq n+2k \leq$ 全チャンネル数）となる。

【0030】この時、条件を満たす k のうち、正の最大値を $k_{n+1,k}$ 、負の最小値を $k_{n-1,k}$ とすれば（但し、それぞれ該当する値がない場合は0とおく）、この組み合わせは全部で $k_{n+1,k} - k_{n-1,k} + 1$ 通り存在する。従って、複数のチャンネルに同時に障害が発生した場合は、残っている光源の中から、前記の条件を満たす組み合わせを選び出せばよい。

【0031】例えばチャンネルCh4（ ω_4 ）とチャンネルCh5（ ω_5 ）を用いて $\omega_3 = 2\omega_4 - \omega_5$ （ $\omega_3 < \omega_4 < \omega_5$ ）を生成することも可能であり、チャンネルCh5（ ω_5 ）とチャンネルCh7（ ω_7 ）を用いて $\omega_3 = 2\omega_5 - \omega_7$ を生成することも可能である。また、上記の多縦モード発振レーザとしては、Fabry-Perot型半導体レーザ、或いはリング共振器型レーザを用いることができる。

【0032】また、上記レーザの縦モードと、このレー

ザに注入する該出力光の波長との差が、注入同期の引き込みレンジ内に収まるよう該縦モードを微調整する波長制御部をさらに設けることが好ましい。この波長制御部は、該半導体レーザの温度を変化させることにより共振器中の屈折率を制御するか、または該半導体レーザへの注入電流を制御して活性層内のキャリア密度を変化させることにより共振器中の屈折率を制御することができる。

【0033】或いは該波長制御部は、該リング共振器型レーザの温度を変化させることにより共振器中の屈折率を制御するか、または該リング共振器型レーザのリング長を制御することも可能である。さらに、三次の非線形媒質として半導体光アンプ、光ファイバ、又は分布帰還型半導体レーザを用いた四光波混合光生成部を設けることができる。

【0034】そして、さらに該波長分割多重光源の出力光を光合波器でまとめ、これを所望の透過波長にそれぞれ設定した2つの光フィルタを透過して該四光波混合光生成部に与えるか、または該波長分割多重光源の出力光をそれぞれ個別の光スイッチに通し、所望の波長のスイッチのみをオンにして該四光波混合光生成部に与える波長選択部を設けることができる。

【0035】以上のように、本発明によれば、多縦モードレーザとしてFabry-Perot型半導体レーザやリングレーザ、また非線形媒質として半導体光アンプや光ファイバなど、既存の光デバイスの組み合わせで予備光源を構成できるため、低コスト化が実現できる。

【0036】また、縦モード注入同期の起こる波長範囲は、一般的なAlGaAs、又はInGaAsP半導体レーザなどで少なくとも20nm程度はあるため、一つの予備光源のみで全WDMチャンネルをカバーできるというメリットがある。更に、予備光源への切り替えには光学現象を利用しているため、切り替えが比較的速くできるという利点も得られる。

【0037】

【発明の実施の形態】上記の本発明に係る波長分割多重予備光源の実施例を、図を参照して以下に説明する。図4(1)は本発明の実施例の全体構成を示す。この実施例は、WDM光源LSと波長選択部1とFWM光生成部2とフィルタ3と予備光源部4と波長制御部5と変調部6とで構成されている。

【0038】WDM光源LSは4チャンネル以上とし、半導体レーザLD1~LD4の出力光を外部変調器EM1~EM4によりそれぞれ変調する構造を有する。ここで、半導体レーザLD3(波長 λ_1)に障害が発生した場合を考える。各半導体レーザLDの出力光(直流光)の一部を取り出し、同図(2)に示す如く、これを波長選択部1に入力する。ここで、波長 λ_1 に相当する四光波混合(FWM)光成分を得るため、半導体レーザLD1とLD2の成分のみを透過する。

【0039】次に、これらの透過光を四光波混合(FW

M) 光生成部2に入力し、波長 λ_1 に相当するFWM光を生成し、この波長 λ_1 の成分のみをフィルタ3で切り出す。すなわち、波長選択部1とFWM光生成部2とで、WDM光源LS中の一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み合わせるFWM光を生成する手段10を構成している。

【0040】この波長 λ_1 の成分を、多縦モードレーザのある予備光源部4に注入し、縦モード注入同期を起こさせる。但し、この時、多縦モードレーザのモード間隔を Δf とし、WDMのグリッド波長間隔を Δf_0 とすると、 $\Delta f_0 = n \cdot \Delta f$ (n : 正の整数)を満たすものとする。

【0041】この結果、予備光源部4の出力は、ほぼ波長 λ_1 の単一モード成分のみになる。最後に、これを外部変調器EM3に対応した変調部6に入力して信号を乗せた後、伝送路へ送信する構成となっている。但し、予備光源部4は注入同期が確実に行われるようにするため、後述するように、その出力光を一般に波長ロッカーと呼ばれる波長制御部5でフィードバック制御することが好ましい。

【0042】次に、図4に示した各ブロック毎の実施例として、まず波長選択部1について図5により説明する。同図(1)の実施例では光フィルタを用いており、各光源からの出力光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$)をアレイ導波路11によって一つに合波し、これを光合分波器12で二つに分岐した後、それぞれ別の光フィルタ13及び14に通す。

【0043】各フィルタ13及び14の透過波長を、それぞれ各光源の障害検出信号を受けるコントローラ15及び16で変化させ、所望の二つの波長(図4の例では波長 λ_1 と λ_2)のみが透過するよう設定する。最後にこれらを光合分波器17で合波している。同図(2)の実施例では、光スイッチを用いており、各光源からの出力光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$)にそれぞれ光スイッチ18(18₁~18_n)を取り付け、障害検出信号に基づいて所望の波長のスイッチのみをオンにし、光合波器19で合波している。

【0044】次に、FWM光生成部2の実施例を図6により説明する。まず非線形媒質として、半導体光アンプ(SOA)を用いた場合の構成例を同図(1)に示す。波長選択部1からの出力光を、光アイソレータ(OI)21を介し、半導体光アンプ22に入射する。光アイソレータ21は、半導体光アンプ22からの自然増幅放光が、前段に漏れ込まないようにするためのものである。

【0045】半導体光アンプ22から出射された光を、再び光アイソレータ23に通して出力する。光アイソレータ23は、このFWM光生成部2の出力側からの余分な反射光などが半導体光アンプ22に入射し、これが不安定動作するのを防ぐためのものである。非線形媒質として、光ファイバを用いた場合の実施例を同図(2)に示す。波長選択部1からの出力光を、光アイソレータ(OI)21を介し光ファイバ24に入射する。光アイソレータ21は、光ファイバ24での反射光が、前段に漏れ込まないようにするための

ものである。光ファイバ24から出射された光を、再び光アイソレータ23に通す。光アイソレータ23は、FWM光生成部2の出力側からの余分な反射光などが、光ファイバ24に入射するのを防ぐためのものである。

【0046】非線形媒質として、さらに分布帰還型半導体レーザ(DFB-LD)を用いた場合の実施例を同図(3)に示す。波長選択部1からの光を、光アイソレータ21を介し、DFB半導体レーザ25のモニタ端面から入射する。光アイソレータ21は、DFB半導体レーザ25の発振成分及び自然増幅放出光が、前段に漏れ込まないようにするためのものである。

【0047】DFB半導体レーザ25の出射端から出た光を、再び光アイソレータ23に通す。光アイソレータ23は、FWM光生成部2の出力側からの余分な反射光などがDFB半導体レーザ25に入射し、これが不安定動作するのを防ぐためのものである。但し、本実施例の場合、DFB半導体レーザ25の発振波長は、後段の予備光源部4の縦モードとは一致せず、このDFB半導体レーザ25が図1に示すようなマスタレーザとなって予備光源部4を縦モード注入同期することがないものとする。

【0048】次に、予備光源部4の実施例を図7により説明する。予備光源部4に、Fabry-Perot半導体レーザ(FP-LD)を用いた場合の構成例を同図(1)に示す。フィルタ3からの出力光を、光アイソレータ(OI)41を介し、FP半導体レーザ42のモニタ端面から入射する。光アイソレータ41は、FP半導体レーザ42の発振成分及び自然増幅放出光が、前段に漏れ込まないようにするためのものである。

【0049】FP半導体レーザ42の出射端から出た光を、再び光アイソレータ43に通す。光アイソレータ43は、予備光源部4の出力側からの余分な反射光などがFP半導体レーザ42に入射し、これが不安定動作するのを防ぐためのものである。予備光源部4に、リングレーザを用いた場合の構成例を同図(2)に示す。リングレーザ44には、ファイバタイプや導波路タイプがあるが、ここでは共振器長を比較的短くできる導波路タイプを用いている。

【0050】フィルタ3からの出力光を、光アイソレータ(OI)41を介し、リングレーザ44の一方のポートAから入射する。光アイソレータ45は、リングレーザ44の発振成分及び自然増幅放出光が、前段に漏れ込まないようにするためのものである。リングレーザ44中に光アイソレータ45を挿入することにより、光がリング46中を双方向に進行して不安定動作することを防ぐ。リングレーザ44の他方のポートBから出た光を、再び光アイソレータ42に通す。光アイソレータ42は、予備光源部4の出力側からの余分な反射光などがリングレーザ44に入射し、これが不安定動作するのを防ぐためのものである。

【0051】次に、波長制御部5の実施例を図8により説明する。波長制御部5は、予備光源部4の出力光の一部を取り出し、これを波長誤差検出部51に投入し、検出し

た誤差を誤差信号処理部52により波長制御信号として予備光源部4に与えてフィードバック制御を行う。この時、波長ロッカーの設定波長は、WDMグリッド波長の内の一つとする。

【0052】この結果、予備光源部(多縦モードレーザ)4の各縦モードの波長は、少なくとも全てのWDMグリッド波長を満足する。ここで、予備光源部4がFP半導体レーザの場合(図7(1)参照)は、図9に示す如く、半導体レーザ42の温度を制御することで屈折率を変化させ、見かけ上の共振器長を変えれば発振波長を微調整できる。従って、予備光源部4にペルチェ素子48を取り付け、波長ロッカー5からの検出信号を用いて温度制御すればよい。

【0053】また、予備光源部4がFP半導体レーザの場合は、図10に示す如く、半導体レーザへの注入電流(半導体レーザ活性層内部のキャリア密度)を制御し、屈折率を変化させ、見かけ上の共振器長を変えることで発振波長を微調整することもできる。従ってこの実施例では、波長ロッカー5からの検出信号を用いて、注入電流を制御すればよい。

【0054】また、予備光源部4がリングレーザの場合(図7(2)参照)は、図11に示す如く、リングレーザ44の温度を制御することで共振器長を変化させれば、発振波長を微調整できる。従って、予備光源部4にペルチェ素子48を取り付け、波長ロッカー5からの検出信号を用いて温度制御すればよい。

【0055】さらに、予備光源部4がリングレーザの場合は、図12に示す如く、リングレーザ44の共振器長を機械的に制御すれば、発振波長を微調整できる。従って、リングレーザ44のリング中に光遅延器(ディレイライン)49を挿入し、これを波長ロッカー5からの検出信号を用いて機械的に制御すればよい。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る波長分割多重用予備光源によれば、WDM光源により4波長以上で互いに等波長間隔の光パルスを外変調器を用いて生成し、一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み合わせることで四波長混合光を生成し、該四波長混合光から該障害光源の波長に等しい出力光を取り出し、予備光源としての多縦モード発振レーザで該出力光により注入同期を起こさせて単一モード発振させるように構成したので、1つの予備光源と既存の部品を組み合わせるだけでWDM光源チャンネルをカバーすることができ、低コストで復旧時間が短いWDM用予備光源が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる縦モード注入同期の原理説明図である。

【図2】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる測定例を示したグラフ図である。

【図3】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる非縮退四光波混合(FWM)の原理説明図である。

【図4】本発明に係る波長分割多重用予備光源の実施例を示す全体構成図である。

【図5】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる波長選択部の実施例を示すブロック図である。

【図6】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いるFWM光生成部の実施例を示すブロック図である。

【図7】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部の実施例を示すブロック図である。

【図8】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる波長制御部の実施例を示すブロック図である。

【図9】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部におけるFabry-Perot型半導体レーザの温度を制御する場合の実施例を示すブロック図である。

【図10】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部におけるFabry-Perot型半導体レーザへの注入電流を制御する場合の実施例を示すブロック図である。

【図11】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部におけるリングレーザの温度を制御する場合の実施例を示すブロック図である。

【図12】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部におけるリングレーザのリング長を制御する場合の実施例を示すブロック図である。

【図13】従来の波長分割多重用予備光源例(1)を示すブロック図である。

【図14】従来の波長分割多重用予備光源例(2)を示すブロック図である。

【図15】従来の波長分割多重用予備光源例(2)にお

*ける波長可変方式を示したブロック図である。

【符号の説明】

LS 波長分割多重(WDM)光源

LD1~LD4 半導体レーザ

EM1~EM4 外部変調器

1 波長選択部

2 四光波混合(FWM)光生成器

3 フィルタ

4 予備光源部(多縦モード発振レーザ)

5 波長制御部

6 変調部

11 アレイ型導波路

12,19 光合波器

13,14 光フィルタ

15,16 コントローラ

17 光分波器

18(18_a~18_n) 光スイッチ

21,23,41,43,45 光アイソレータ

22 半導体アンプ

24 光ファイバ

25 分布帰還型半導体レーザ

42 Fabry-Perot型半導体レーザ

44 リングレーザ

46 リング

47 光合分波器

48 ヘルチエ素子

49 光遅延器

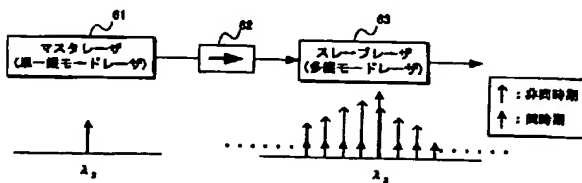
51 波長誤差検出器

52 誤差信号処理部

図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。

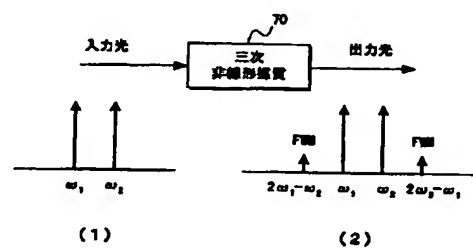
【図1】

縦モード注入問題の原理



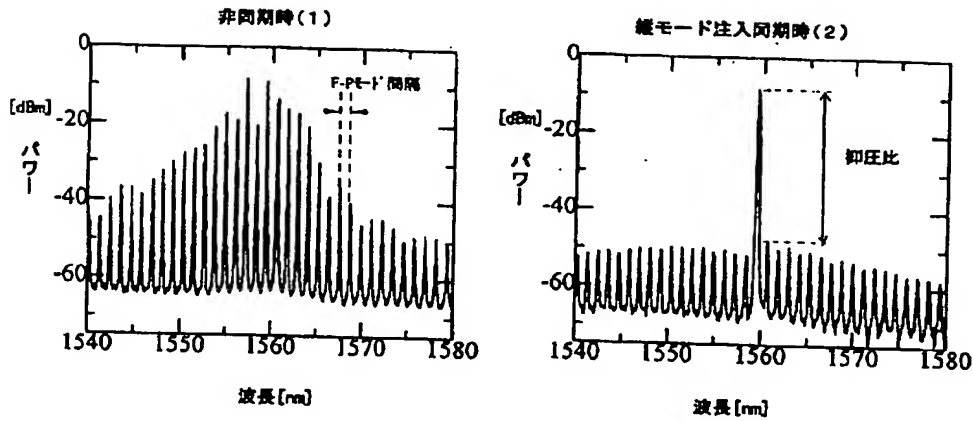
【図3】

非縮退四光波混合



【図2】

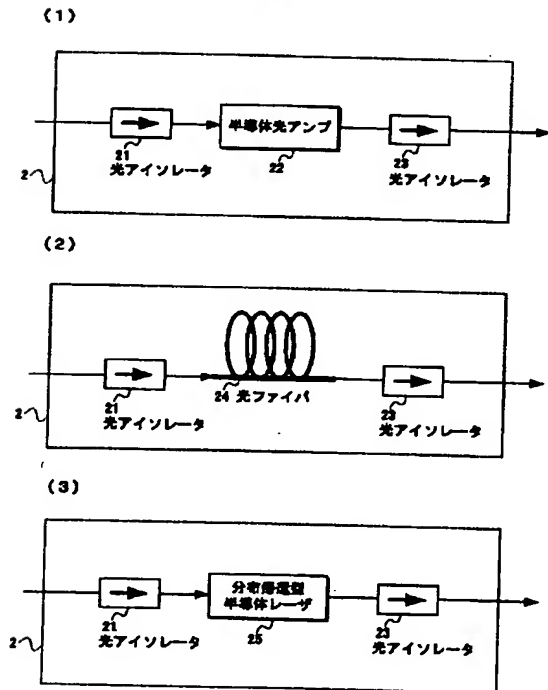
遅モード注入同期の測定例



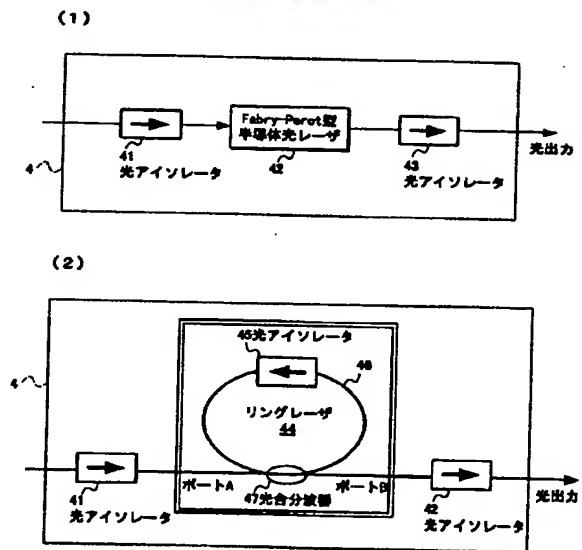
【図6】

【図7】

FWM光生成部の実施例

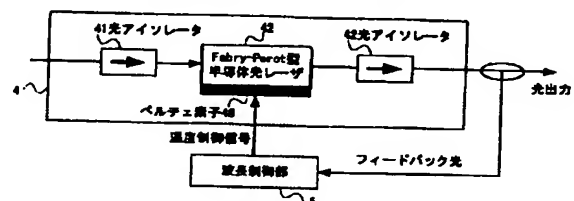


予備光路部の実施例



【図9】

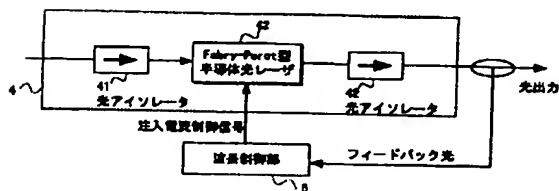
FP-LDの周波数を制御する場合の実施例



(7)

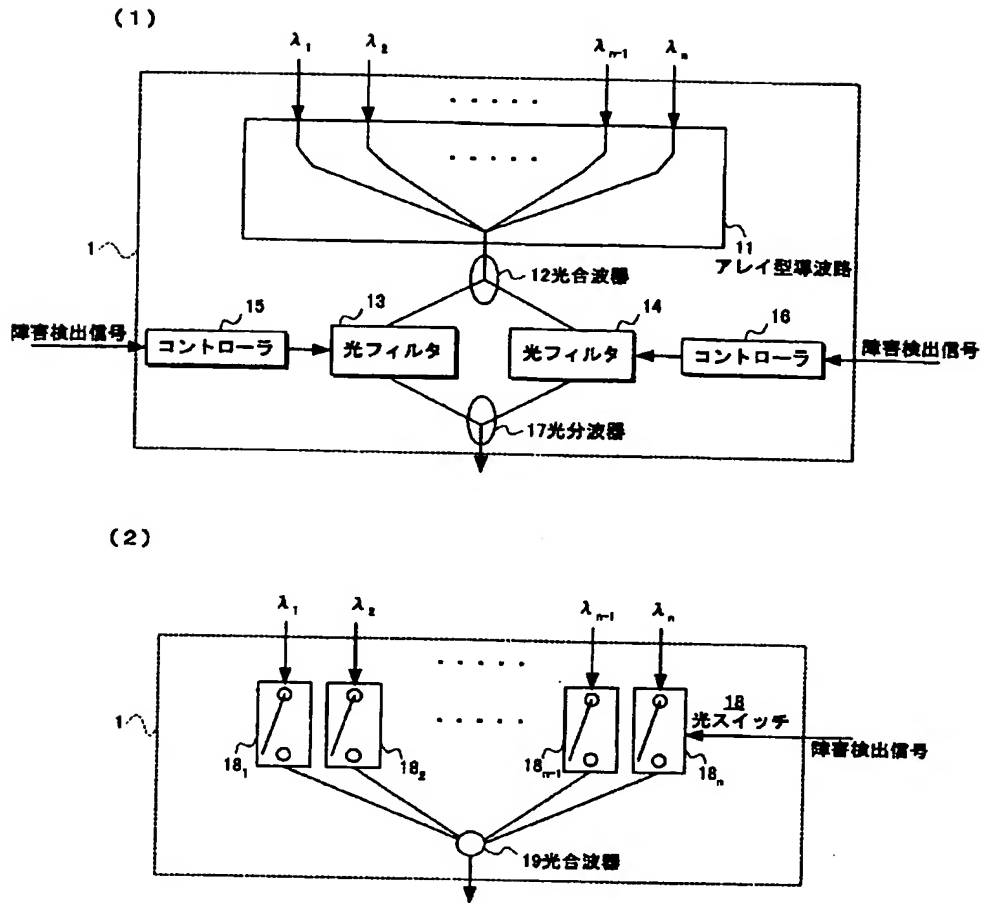


FP-LDへの注入電流を制御する場合の実施例



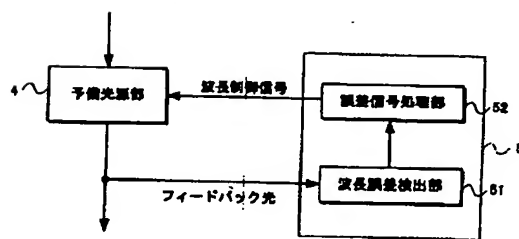
【図5】

波長選択部の実施例



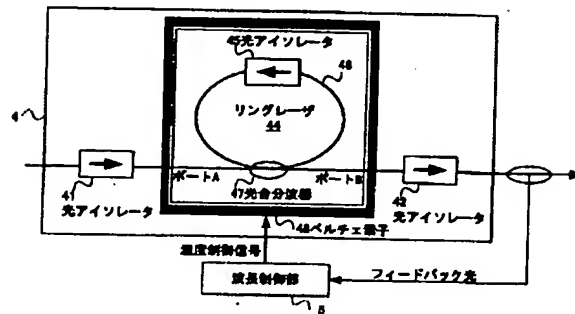
【図8】

波長制御部の実施例



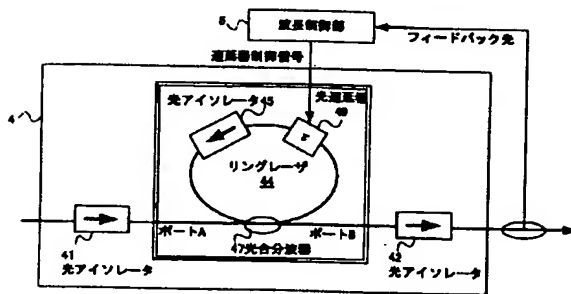
【図11】

リングレーザの周波数を制御する場合の実施例



【図12】

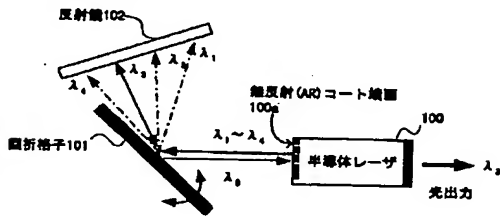
リングレーザのリング長を制御する場合の構成例



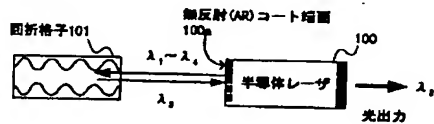
【図15】

波長可変予備光源例

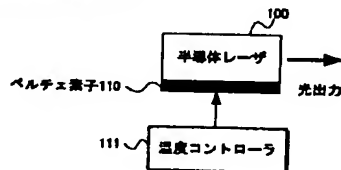
(1) 回折格子型波長可変方式（機械式）



(2) 回折格子型波長可変方式（光学式）

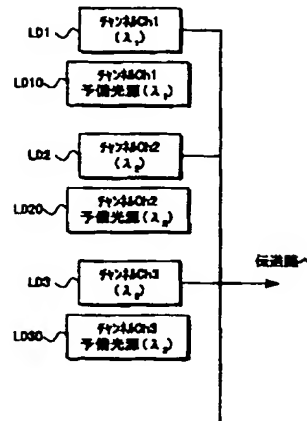


(3) 温度変化型波長可変方式



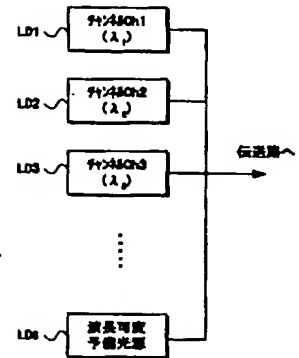
【図13】

従来例（予備ユニット）



【図14】

従来例（波長可変レーザ）



フロントページの続き

(72)発明者 山根 一雄
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72)発明者 後藤 俊夫
 愛知県日進市五色園3丁目2110番

(72)発明者 森 正和
 愛知県名古屋市中区大野木3丁目100番レ
 ジオン庄内緑地公園101号

F ターム(参考) SF073 AA64 AA66 AB25 AB30 BA02
EA02 EA29 FA25 GA22 GA38
SK002 AA01 BA02 BA05 BA06 BA13
CA05 CA11 CA13 DA02 EA33
FA01

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.